

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Школа природных ресурсов  
Направление подготовки: Химическая технология  
Отделение школы (НОЦ) химической инженерии

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Проект узла синтеза формальдегида</b>

УДК 661.727.1.03–047.74

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д4А	Брагина Ольга Олеговна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ротарь Ольга Васильевна	к.х.н., старший научный сотрудник		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Татьяна Гавриловна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Король Ирина Степановна	к.х.н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Волгина Т.Н	к.х.н.		

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа природных ресурсов

Направление подготовки (специальность): Химическая технология

Отделение школы (НОЦ) химической инженерии

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель ООП

\_\_\_\_\_  
(Подпись)      (Дата)      (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы
(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
2Д4А	Брагиной Ольге Олеговне

Тема работы:

Проект узла синтеза винилацетата	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	25.12.2017 №10042

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2018
--	------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b> (наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</p>	<p>Синтез формальдегида окислительным дегидрированием метанола на серебряном катализаторе. Производительность установки составляет 130000 т/год; процесс непрерывный; основной аппарат – контактный аппарат цилиндрической формы. В верхней части находится решетка, покрытая слоем катализатора «серебро на пемзе». В нижней части аппарат смонтированный подконтактный холодильник.</p>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b> (аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</p>	<p>В ходе работы были разработаны следующие разделы: теоретическая часть;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– объект и методы исследования;</li> <li>– инженерные расчеты, включающие материальный, тепловой, механический расчеты, расчет вспомогательного оборудования;</li> <li>– контроль производства;</li> <li>– финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение;</li> <li>– социальная ответственность.</li> <li>– Заключение по работе.</li> </ul>
<p><b>Перечень графического материала</b> (с точным указанием обязательных чертежей)</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Схема технологическая.</li> <li>2. Реактор. Вид общий.</li> <li>3. Реактор. Сборочный чертеж</li> </ol>

<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Рыжакина Татьяна Гавриловна
Социальная ответственность	Король Ирина Степановна
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	18.09.2017
---	------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ротарь Ольга Васильевна	к.х.н., старший научный сотрудник		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д4А	Брагина Ольга Олеговна		

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа природных ресурсов

Направление подготовки (специальность): Химическая технология

Уровень образования бакалавриат

Отделение школы (НОЦ) химической инженерии

Период выполнения \_\_\_\_\_ (осенний / весенний семестр 2017/2018 учебного года)

Форма представления работы:

Бакалаврская работа
(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН**  
**выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2018
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
25.12.17	Работа с литературой: теоретическая часть, выбор метода производства, описание технологической схемы (с учетом вопросов охраны ОС)	25
12.02.18	Расчет материального баланса	10
04.03.18	Расчет теплового баланса, аппаратные расчеты. Контроль производства (КИП реактора)	15
19.03.18	Выполнение чертежа общего вида реактора	10
08.04.18	Оформление пояснительной записки КП и защита проекта	10
13.05.18	Выполнение чертежа технологической схемы, чертежа сборочных единиц реактора	10
27.05.18	Завершение разделов «Социальная ответственность» и «Финансовый менеджмент» Контроль производства (аналитический контроль). Подбор вспомогательного оборудования	10
30.05.18	Сдача готовой работы	
04.06.18	Размещение в ЭБС	

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Бондалетова Л.И.	к.х.н., доцент		

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Волгина Т.Н.	к.х.н., доцент		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
2Д4А	Брагиной Ольге Олеговне

<b>Школа</b>	Природных ресурсов	<b>Отделение школы</b>	Химическая инженерия
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	18.03.01 Химическая технология

<b>Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:</b>	
1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; анкетирование; опрос.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта
2. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НТИ
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Проведение оценки экономической эффективности исследования получения полиметилметакрилата суспензионным способом
<b>Перечень графического материала(с точным указанием обязательных чертежей):</b>	
1. Оценка конкурентоспособности технических решений	
2. Матрица SWOT	
3. График проведения НТИ	
4. Определение бюджета НТИ	
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ	

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Рыжакина Татьяна Гавриловна	к.э.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
2Д4А	Брагина Ольга Олеговна		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
2Д4А	Брагиной Ольге Олеговне

<b>Школа</b>	<b>ИШПР</b>	<b>Отделение школы</b>	<b>ОХИ</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавр	<b>Направление/специальность</b>	18.03.01 Химическая технология

<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<p>Объект исследования – узел синтеза формальдегида. Формальдегид – органическое соединение, бесцветный газ с резким запахом, хорошо растворимый в воде, спиртах и полярных растворителях.</p> <p>Формальдегид получают окислительным дегидрированием метанола в присутствии катализатора «серебро на пемзе». Процесс синтеза состоит из следующих стадий: получение метанола–воздушной смеси; синтез формальдегида; абсорбция формальдегида; ректификация формалина–сырца.</p> <p>В данной работе был спроектирован узел синтеза формальдегида. Проектная мощность цеха по производству формалина составляет - 130000 т/год.</p> <p>Области применения: формальдегид, стабилизированный водным раствором метанола, носит название формалин и применяется в сельском хозяйстве (для протравливания семян); в кожевенной промышленности (для дубления кожи); в медицине (как антисептическое средство, как консервант биологических материалов). Водный раствор формальдегида, стабилизированный карбамидом, применяется в производстве карбаминоформальдегидных, меламинокарбаминоформальдегидных смол. В полимерной промышленности значительная часть формальдегида идет на производство полимеров-реактопластов.</p>
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<b>1. Производственная безопасность</b> 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:	<b>1.1 Вредные и опасные факторы, которые может создать объект исследования:</b> Работа в цехе формалина характеризуется следующими опасностями: <ul style="list-style-type: none"> <li>• газоопасностью. Метанол, формальдегид, природный газ, азотная кислота могут создать загазованность и служить причиной отравления при вдыхании их паров;</li> <li>• взрыво- и пожароопасностью. Возможно образование взрывоопасных смесей;</li> <li>• возможностью получения химических ожогов едким натром, азотной кислотой при попадании их на кожу.</li> </ul> ГОСТ 1625-2016. Формалин технический. Технические условия. ГОСТ 12.1.007–76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.
1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:	<b>1.2 Вредные и опасные факторы, которые могут возникнуть на производстве:</b> шум и вибрация промышленной установки, микроклимат, опасность возникновения взрыва или пожара при работе на установке, поражение электрическим током, термические ожоги. СГОСТ 12.1.003–83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

	22.07.2013 г. №123 – ФЗ. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности.
<b>2. Экологическая безопасность:</b>	Выбросы формальдегида и метанола на производстве сведены до минимума. Сточные воды собираются в подземную ёмкость и по мере заполнения передавливаются азотом, затем направляются в стандартизатор и далее в процесс. Твёрдые отходы – катализатор – сдаётся на завод регенерации драгоценных металлов.
<b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	Вероятные чрезвычайные ситуации: Разгерметизация трубопроводов (загорание пролитой жидкости); неполадки в работе насосов (образование взрывоопасных смесей). Противопожарная защита: в случае возникновения ЧС предусмотрены первичные средства пожаротушения: огнетушители ОХП-10 и ОУ-5 для тушения электрооборудования.
<b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b>	Правовые нормы трудового законодательства, регулирующие соблюдение безопасности при работе в производственных помещениях. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 31.12.2014)

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	06.02.2018
--	------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Король Ирина Степановна	к.х.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д4А	Брагина Ольга Олеговна		

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения
<b><i>Профессиональные компетенции</i></b>	
P1	Применять базовые и специальные, математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания в профессиональной деятельности
P2	Применять знания в области современных химических технологий для решения производственных задач
P3	Ставить и решать задачи производственного анализа, связанные с созданием и переработкой материалов с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии
P4	Разрабатывать новые технологические процессы, проектировать и использовать новое оборудование химической технологии, проектировать объекты химической технологии в контексте предприятия, общества и окружающей среды
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области современных химических технологий
P6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современное высокотехнологичное оборудование, обеспечивать его высокую эффективность, выводить на рынок новые материалы, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на химико-технологическом производстве, выполнять требования по защите окружающей среды
<b><i>Универсальные компетенции</i></b>	
P7	Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов профессиональной деятельности
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности
P9	Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности
P10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать лидерство в инженерной деятельности и инженерном предпринимательстве, ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации



## Реферат

Пояснительная записка к ВКР содержит 120 страниц, 5 иллюстраций, 49 таблиц, 38 использованных источника, 3 листа графического материала.

Ключевые слова: формалин, производство, формальдегид, «серебро на пемзе».

Объектом исследования является производство формальдегида каталитическим окислением метанола.

Цель работы – спроектировать узел синтеза формальдегида. Проектная мощность цеха по производству формалина составляет - 130000 т/год.

Пояснительная записка содержит такие разделы, как:

- Обзор литературы;
- Расчет и аналитика;
- Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение;
- Социальная ответственность;
- Заключение.

Для проектирования узла синтеза формальдегида мощностью 130 тыс.тонн/год были проведены следующие расчеты: материальный баланс всех стадий производства, тепловой баланс, технологические расчеты контактного аппарата и подконтактного холодильника. Механический расчет и подбор вспомогательного оборудования. На основании расчета построен чертеж общего вида контактного аппарата, сборочные единицы реактора. Приведена технологическая схема производства.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» был рассчитан бюджет научно-технического исследования.

В разделе «Социальная ответственность» были рассмотрены вредные и опасные факторы, а также влияние производства на окружающую среду.

## Содержание

Введение	13
1. Обзор литературы	14
1.1 Формальдегид. Участие в создании органической природы. Модификации	14
1.2 Формальдегид в органическом синтезе	16
1.3 Мировой рынок формальдегида	17
1.4 Обоснование выбора метода производства	20
1.5 Химизм процесса	22
1.6 Механизм процесса	23
1.7 Термодинамика процесса	25
2. Объект и методы исследования	2
2.1 Характеристика производимой продукции, исходного сырья, материалов и полупродуктов	26
2.2 Выбор и обоснование технологической схемы производства	28
2.3 Описание технологического процесса	29
2.4 Описание приборов контроля и средства автоматизации	29
2.5 Аналитический контроль	30
3. Инженерные расчеты	31
3.1 Материальный баланс	31
3.1.1 Расчёт материального баланса стадии образования метано-воздушной смеси и стадии контактирования	41
3.1.2 Расчёт материального баланса стадии абсорбции	44
3.1.3 Расчёт материального баланса стадии ректификации	46
3.1.4 Материальный баланс всех стадий процесса	48
3.2 Тепловой баланс	50
3.2.1 Тепловой баланс реактора	50
3.2.2 Тепловой баланс подконтактного холодильника	54
3.3 Технологический расчёт	58
3.3.1 Технологический расчёт контактного аппарата	58

3.3.2 Технологический расчёт подконтактного холодильника	60
3.4 Механический расчет	74
3.4.1 Обоснование конструкции основного аппарата	74
3.4.2 Расчёт диаметра патрубков	78
3.4.3 Расчёт толщины стенок обечайки	80
3.4.4 Расчёт толщины днища подконтактного холодильника и крышки аппарата	81
3.4.5 Условия укрепления отверстий	82
3.4.6 Расчёт трубной решётки подконтактного холодильника	84
3.4.7 Расчёт тепловой изоляции реактора	84
3.4.8 Расчёт компенсатора подконтактного холодильника	84
3.4.9 Расчет опорных лап	85
3.4.10 Вспомогательное оборудование	88
4 Финансовый менеджмент	90
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	90
4.1.1 Анализ конкурентных технических решений	90
4.1.2 SWOT-анализ	91
4.2 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	94
4.3 Планирование научно-исследовательских работ	94
4.3.1 Структура работ в рамках научного исследования	94
4.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ	95
4.3.3 Разработка графика проведения научного исследования	97
4.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	100
4.4.1 Расчет материальных затрат НТИ	100
4.4.2 Расчет затрат на оборудование для научно-экспериментальных работ.	101
4.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы	101
4.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	103

4.4.5 Накладные расходы	104
4.4.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	104
4.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	105
5 Социальная ответственность	106
5.1 Производственная безопасность	106
5.2 Экологическая безопасность	112
5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	116
5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	117
Заключение	118
Список использованных источников	119

## Введение

Количество известных человеку органических соединений исчисляется миллионами, но свою нишу твердо занял простой, но необходимый в органическом синтезе продукт – формальдегид. Судить о степени важности этого химического соединения, можно анализируя его мировое производство – 52 млн. тонн в год. На долю российского рынка приходится около 7% [1].

Производство формальдегида является экономически выгодным производством, т.к. сырьем служат как продукты много тоннажного синтеза – метиловый спирт (метанол), так и полезное ископаемое – природный газ.

Области применения формальдегида разнообразны. Так формальдегид, стабилизированный водным раствором метанола, носит название формалин и применяется в сельском хозяйстве, в кожевенной промышленности, в медицине.

Водный раствор формальдегида, стабилизированный карбамидом, применяется в производстве смол.

В полимерной индустрии значительная часть формальдегида идет на производство полимеров–реактопластов. В качестве полупродукта в синтезах изопрена, пентаэритрита, уротропина. Помимо этого он используется в многочисленных синтезах, лежащих в основе производства химических волокон, многоатомных спиртов, красителей, взрывчатых веществ, фармацевтических препаратов [2].

Анализируя масштабы применения формальдегида, можно сказать, что он широко используется в промышленном органическом синтезе. На основании этого производство формальдегида можно считать актуальной темой для исследования.

В данной работе был спроектирован узел синтеза формальдегида. Проектная мощность цеха по производству формалина составляет - 130000 т/год.

## 1. Обзор литературы

### 1.1 Формальдегид в органической природе

В настоящее время ученым известно много сотен тысяч органических соединений. Формальдегид играет особую роль. Его наряду с метаном, метанолом, синильной и муравьиной кислот можно отнести к числу простых органических соединений, относящихся при этом к органической химии, в то время как другие простейшие соединения, встречающиеся в природе, относятся уже к сфере неорганической химии. Термодинамически возможно получение формальдегида гидрированием оксида и диоксида углерода.

Не стоит забывать, что катализаторами процесса гидрирования являются металлы, распространенные в земной коре. Такие как хром, медь, никель и т.п. В работах ученых Королькова и Щукарева показано, что образование формальдегида происходит и при взаимодействии оксида углерода (II) с водой, под влиянием оксидов молибдена [2].

Учитывая, что реакция взаимодействия угарного газа с водой протекает уже при 50—80°C, давление CO 0,1 МПа велика вероятность, что синтез формальдегида будет протекать в естественных условиях. Конечно, такой вариант получения формальдегида с практической точки зрения никак нельзя отнести к категории высокопроизводительных, потому что конверсия исходных реагентов, и, следовательно, выход формальдегида очень малы.

Реакции взаимодействия формальдегида с другими соединениями протекают в таких же «мягких» условиях.

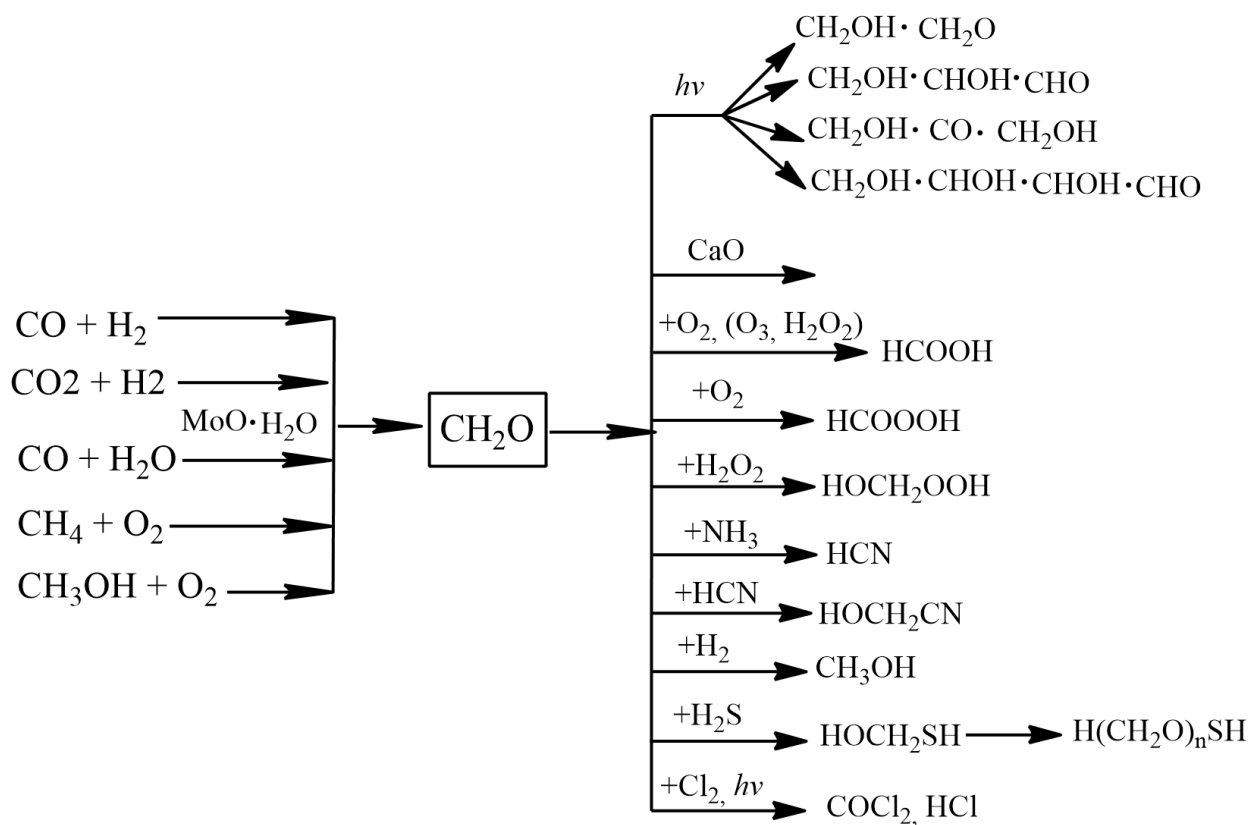


Рисунок 1 – Схема простейших реакций образования и превращения формальдегида [2]

На рисунке 1 схематически показаны реакции формальдегида с простыми соединениями и веществами. Анализируя это рисунок, можно заметить, что формальдегид, реагируя с распространёнными веществами, даёт фундаментальные для органического синтеза продукты. Эти реакции не требуют высоких температур, не протекают при избыточном давлении, а катализаторами являются соли, кислоты и основания, которые также находятся в органической природе. Формальдегид – высоко реакционноспособное вещество и может реагировать со всеми классами органических соединений, кроме насыщенных углеводородов и эфиров. Также интересен тот факт, что переход от формальдегида к другим классам (кислотам, аминам, спиртам и т.д.) является простым и не затратным. Интересным и даже редким можно считать способность формальдегида реагировать самим с собой (интрамолекулярное взаимодействие).

## 1.2 Формальдегид в органическом синтезе

Роль формальдегида в органическом синтезе охарактеризована в следующих словах профессора Голля «Подобно тем организмам, которые могут размножаться, давая несколько жизнеспособных генераций за считанные часы, формальдегид способен в короткое время продуцировать целые семейства полимеров, сахаров, фенопластов и аминопластов, и все эти вещества носят неповторимый отпечаток формальдегида. В течение грядущих лет легионы химиков будут дополнять, и расширять ветви его генеалогического древа» [2].

На рисунке 2 показана номенклатура продуктов, получаемых на основе формальдегида.



Рисунок 2 – Промышленные синтезы на основе формальдегида [2]

В зависимости от модификации формальдегида можно выделить следующие сферы его применения:



Водный раствор формальдегида, стабилизированный метанолом — формалин — в кожевенном производстве используется в качестве дубителя благодаря своему свойству – является причиной денатурации белков. Это же свойство используют и при дублении желатина в производстве кинофотоплёнки; и в медицине в качестве антисептика и консерватора биологических материалов [4].

Водный раствор формальдегида, стабилизированный карбамидом — КФК — применяется в производстве смол и для обработки против слеживаемости. Нашел широкое применение в деревообрабатывающей и мебельной промышленности [4].

На рынке полимеров формальдегид применяется для получения реактопластов [4].

### 1.3 Мировой рынок формальдегида

Во всем мире производится около 52 млн. т формальдегида. Средняя загрузка мощностей близка к 90%. На производство формальдегида во всем мире расходуется порядка 35,7% метанола [1].

Наиболее крупными мировыми производителями формалина являются США, Европа и Китай. На их долю приходится 75% мирового производства. Азиатско-Тихоокеанский регион лидировал по показателям производства; на его долю приходится около 55% от всего объёма производства формальдегида. Китай является ведущей страной-производителем формальдегида с долей 50% от мирового производства. За ним следует США, Россия и Германия с долями равными 14,47%, 6,68% и 5,12%, соответственно [1].

### Формальдегид: структура мирового производства по странам, 2015 год



Рисунок 3 – Структура мирового производства формальдегида в 2015 г [1]

В России, начиная с 2010 года, резко возросло производство формальдегида в связи с пуском четырех установок низкометанольного формалина. В 2013 году в РФ было произведено 636,601 тыс. т формалина. В целом производство формалина сохранилось на уровне 2012 года, потеря составила менее одного процента. Лидер по выпуску формалина — Приволжский федеральный округ (324,442 тыс. т), в СЗФО произведено 130,462 тыс. т формалина, в ЦФО — 72,556 тыс. т. Формалин производился также в Уральском и Сибирском округах, в целом его производство возросло во всех регионах России за исключением СЗФО, где снижение составило 8,66 тыс. т. Для производства формалина отечественные компании используют как собственное, так и зарубежное сырье. Так как технология производства формалина проста, а транспортировка крайне затратная, то объем мировой торговли формалином не превышает 2–3% от объемов производства [1].

## Применение формальдегида в мире, 2015

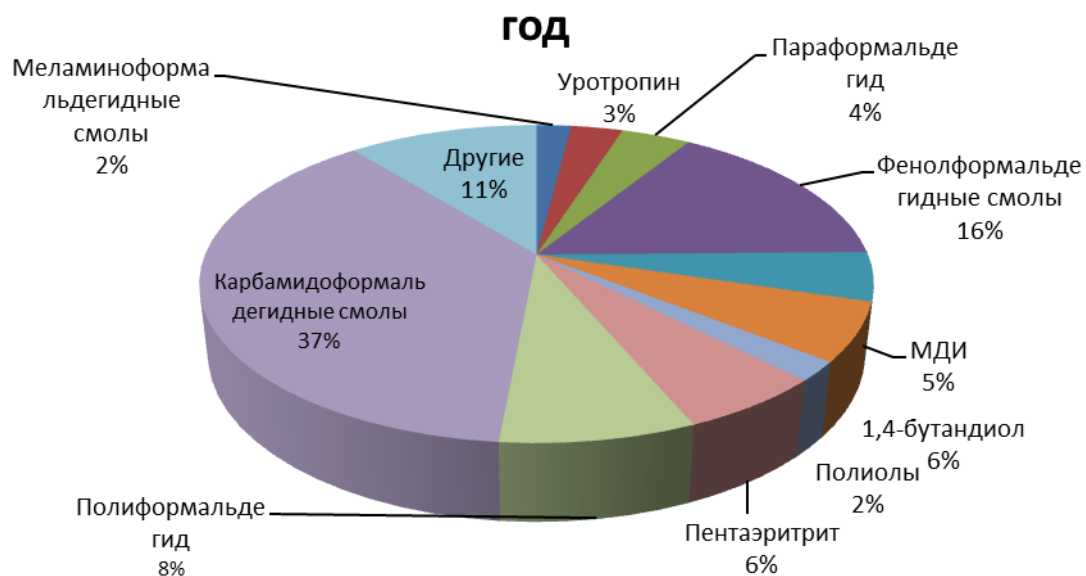


Рисунок 4 – Применение формальдегида в мире в 2015 г [1]

На рисунке 5 представлена схема использования продуктов, получаемых из формальдегида.



Рисунок 5 – Схема использования продуктов, получаемых из формальдегида

#### 1.4 Обоснование выбора метода производства

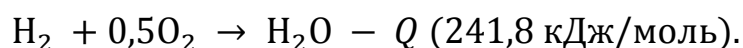
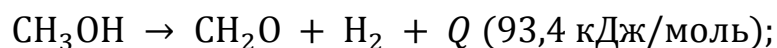
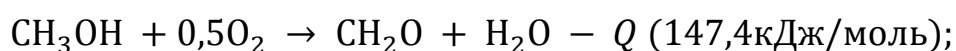
Сырьем для производства формальдегида являются метанол, диметиловый эфир, природный и попутный газ (газ коксохимического производства и нефтепереработки). В промышленности формальдегид получают следующими способами [5]:

- 1) Окислительное дегидрирование метанола с использованием металлических катализаторов.
- 2) Окисление метанола на оксидных катализаторах.
- 3) Окисление природного газа и низших парафинов.

В качестве катализатора в первом методе чаще всего используют серебро (реже используются золото или платина), с целью поддержания высокой площади контакта активного вещества и предотвращения его

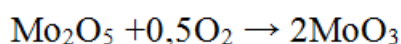
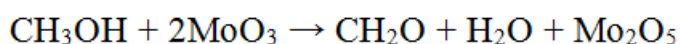
спекания серебро используется на носителе. Обычно это высокопористый материал – пемза.

Окисление происходит в паровой фазе, с использованием кислорода воздуха в реакторах адиабатического типа. Дальнейшее поглощение продуктов осуществляется водой. Состав спирто–воздушной смеси контролируют, чтобы она была выше 36,4 об.% (выше верхнего предела взрываемости). Проанализировав уравнение, нетрудно заметить, что кислород находится в недостатке. Именно поэтому процесса полного окисления не происходит и выход побочных реакций относительно невелик.



Используя такой метод, возможно получение формалина с содержанием метанола до 10% и формалина с содержанием метанола менее 1%.

Во втором методе катализатор представляет собой смесь оксидов железа и молибдена. Реакция протекает по окислительно – восстановительному механизму:



В этом методе наоборот используется избыток воздуха, температура процесса 350 – 430°C и обычное давление во избежание восстановления катализатора. Состав метанола–воздушной смеси поддерживают ниже предела взрываемости.

В данном процессе степень конверсии метанола – 99%. Реакция сильно экзотермична, необходимо использовать трубчатые реакторы с охлаждением. Этим способ получают формалин – 37% с содержанием метанола не выше 0,5%. Данный метод предпочитают, когда не требуется производительность выше 8 – 10 тыс. т./год.

Третий метод имеет такие преимущества как доступность и дешевизна относительно сырья и технологии. Но на практике его применение невозможно, т.к. реакция идет при температуре выше 600°C. В таких условиях формальдегид разлагается.

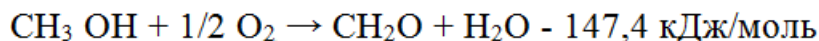
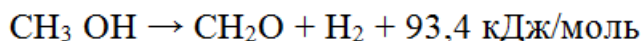
Выход формальдегида не превышает 3% при селективности 10 – 25%. Поэтому рассмотренный метод не получил практического промышленного применения.

Исходя из выше сказанного, рассмотрению подлежат только два метода производства формальдегида – каталитическое окисление метанола на двух типах катализаторов: металлических и оксидных.

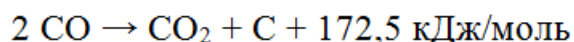
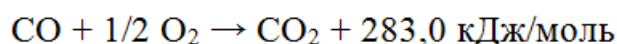
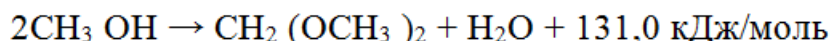
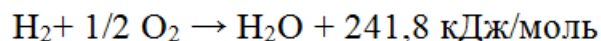
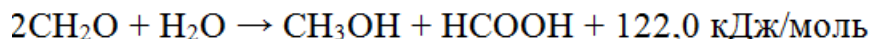
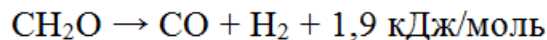
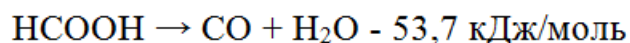
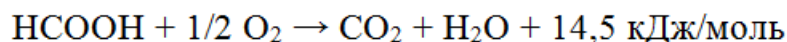
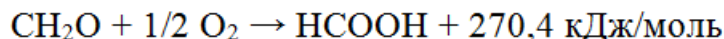
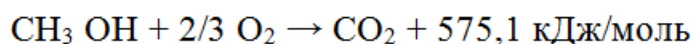
Сравнивая экономические и производственные затраты, а также объем продукции для нужд формалин потребляющего производства – карбамидных смол выбирается метод производства по окислительному дегидрированию метанола на серебряном катализаторе.

### 1.5 Химизм процесса

Синтез формальдегида происходит при прохождении метанола – воздушной смеси через слой катализатора – «серебро на пемзе», температура в зоне контактирования поддерживается: 550 – 600°C. Образование формальдегида осуществляется в результате протекания параллельных реакций простого и окислительного дегидрирования метанола:



Наряду с этими реакциями в системе протекает целый комплекс побочных превращений.



Анализируя данные реакции, можно проследить, что в целом процесс получения формальдегида сопровождается выделением тепла, за счет которого поддерживается заданная температура в зоне контактирования и, следовательно, равновесие реакции смещается в сторону образования продуктов (вправо).

Побочные реакции способствуют снижению выхода формальдегида и определяют состав выхлопных газов (абгазов).

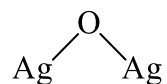
## 1.6 Механизм процесса

Реакция синтеза формальдегида относится к гетерогенно-каталитическим реакциям, следовательно, превращение происходит на поверхности раздела фаз, т.е. на поверхности катализатора. Происходит адсорбция метанола на поверхности окисленного серебра. В то время как, на поверхности свободного не окисленного серебра метанол практически не адсорбируется и с повышением температуры наблюдается уменьшение поглощенного продукта. В процессе хемосорбции на атомах серебра на адсорбированный кислород, наблюдается атомарная адсорбция, т.е. его

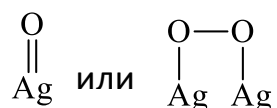
диссоциация на атомные ионы.

Различают три области адсорбции. Деление происходит в зависимости от степени окисления серебра.

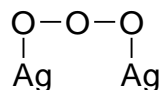
1. Степень окисления равна  $0,1 - 0,12 \text{ см}^3 \text{O}_2 / \text{м}^2 \text{Ag}$ . В пределах покрытия поверхности монослоем кислорода. Это значит, что один атом кислорода связан с двумя поверхностными атомами серебра ( $\text{Ag}_2^s\text{O}$ ) [4]:



2. Степень окисления равна  $0,22 - 0,26 \text{ см}^3 \text{O}_2 / \text{м}^2 \text{Ag}$ . Атом кислорода связан с одним атомом поверхностного серебра преобладает соединение, в котором атом кислорода связан с одним атомом поверхностного серебра ( $\text{Ag}^s\text{O}$  или  $\text{Ag}_2^s\text{O}_2$ ):



3. При дальнейшем окислении возникает структура с большим содержанием кислорода на атом серебра:



Особое состояние кислорода на серебре обуславливает каталитическую специфичность серебра. В отличие от других металлов, где при активированной адсорбции кислорода происходит образование только атомных ионов  $\text{O}^-$  или  $\text{O}^2$ , которые вызывают сгорание исходного продукта на серебре образуются поверхностные молекулярные ионы типа  $\text{O}_2^-$  или  $\text{O}_2^{2-}$ . Эти поверхностные ионы входят в состав поверхностного оксида  $\text{Ag}^{2+}\text{O}^{2-}$ . Атомные ионы, образующие с серебром активные центры при адсорбции метанола на них ослабляют или полностью разрывают химические связи в адсорбированной молекуле. Дальнейшие взаимодействия протекают между двумя хемосорбированными частицами, находящимися на соседних активных



центрах или между хемосорбированной частицей и физически адсорбированной или налетающей из объема молекулой [4].

### 1.7 Термодинамика процесса

Тепловой эффект реакции получения формальдегида окислительным дегидрированием зависит от доли реакций окисления и дегидрирования. С помощью введения того или иного количества кислорода можно варьировать эффект суммарного превращения в реакции окисления, которые протекают с выделением тепла. Это свойство облегчает технологический процесс, т.к. устраняется эндотермичность реакции, следовательно, исчезает необходимость подогрева реакционной массы [4].

Выход формальдегида на пропущенное сырье достигает 80–85% при степени конверсии метанола 85–90%. В реакциях дегидрирования наблюдается увеличение объемов газа (т.к. отщепляется водород), значит смещению равновесия в сторону образования конечных продуктов благоприятствует низкое давление.

## 2. Объект и методы исследования

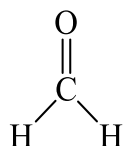
### 2.1 Характеристика производимой продукции, исходного сырья, материалов и полупродуктов

Выпускаемый готовый продукт – формалин технический (ФМ)

Формалин является водным раствором формальдегида и метанола в воде.

Эмпирическая формула формальдегида:  $\text{CH}_2\text{O}$ .

Структурная формула формальдегида:



Молярная масса 30,03 г/моль.

Для предохранения концентрированных растворов формальдегида от полимеризации к ним добавляют стабилизаторы. Основным промышленным стабилизатором служит метанол.

По физико-химическим показателям технический формалин должен соответствовать требованиям и нормам, указанным в таблице 2

Таблица 2 – Нормы требования технического формалина по физико-химическим показателям [6].

Наименование показателей	Норма для марки	
	ФМ ГОСТ 1625-89	
	Высший сорт ОКП 241731 0120	Первый сорт ОКП 241731 0130
1. Внешний вид	Бесцветная прозрачная жидкость. При хранении допускается образование мути или белого осадка,	
2. Массовая доля формальдегида, %	37,2 + 0,3	37,0 + 0,5
3. Массовая доля метанола, %	4 – 8	4 - 8

Продолжение таблицы 2

4. Массовая доля кислот в пересчете на муравьиную	0,02	0,04
5. Массовая доля железа, %, не более	0,0001	0,0005
6. Массовая доля остатка после прокаливании, %, не более	0,008	0,008

Физические свойства технического формалина зависят от содержания в нем формальдегида и метанола и меняются в пределах [7]:

Плотность ( $\rho$ ) = 1177-1116 кг/м<sup>3</sup>

Температура кипения ( $t_k$ ) = 98,9 °C

Удельная теплоёмкость ( $c_p$ ) = 3352 Дж/(кг·K)

Вязкость ( $\mu$ ) = 2,45 - 2,58 Па·с

В таблице 3 приводится характеристика исходного сырья, материалов и полупродуктов, участвующих в процессе синтеза формальдегида.

Таблица 3 – Характеристика исходного сырья, материалов и полупродуктов.

Наименование сырья, материалов и полупродуктов.	Государственный или отраслевой стандарт, СТП,ТУ, регламент.	Показатели по стандарту, обязательные для проверки.	Регламентируемые показатели с допустимыми отклонениями.
1.Метанол - яд синтетический	ГОСТ 2222-95	1.1. Плотность,	0,791-0,792
2.Вода деминерализованная	Технологический регламент №4 производства тепла, пара и воды.	2.1.Жесткость, ммоль/ дм <sup>3</sup>	не более 0,005
		2.2.Содержание железа, мг/дм <sup>3</sup>	не более 0,05
		2.3. pH	6,5 – 7,5
3.Кислота азотная концентрированная	ГОСТ 701-89	3.1.Массовая доля азотной кислоты, %	98,2
4.Едкий натр	ГОСТ 2263-79	4.1.Массовая доля едкого натра (марка «РР»), %	не менее 42

Продолжение таблицы 3

5.Оборотная вода.	Технологический регламент установки оборотного водоснабжения.	5.1.Содержание взвешенных частиц, мг/дм <sup>3</sup>	не более 20
		5.2.Общая жесткость, ммоль/дм <sup>3</sup>	не более 5
6.Пар	Технологический регламент производства тепла, пара и воды.	6.1. Давление, кгс/см <sup>2</sup>	18 - 25
		6.2. Температура, °С	+ 350
7.Природный газ.		1.Состав, объёмная доля, %:	
		- метан	86 - 97
		- этан	1,5 - 4
		- пропан	1 - 6
		- бутан	0 - 4
		- азот	1 - 2
		- двуокись углерода	0 - 1

## 2.2 Выбор и обоснование технологической схемы производства

Технологическая схема производства выбирается в зависимости от катализатора, применяемого в процессе. В качестве катализатора используется серебро на носителе, он может быть представлен в разных формах: в виде серебряных сеток, в виде крупнокристаллического электролитического серебра, в виде губчатого серебра, а также серебро, нанесенное на крупнопористые природные или искусственные носители (пемза, корунд, фаянс, алюмосиликат, окись алюминия и т. д.).

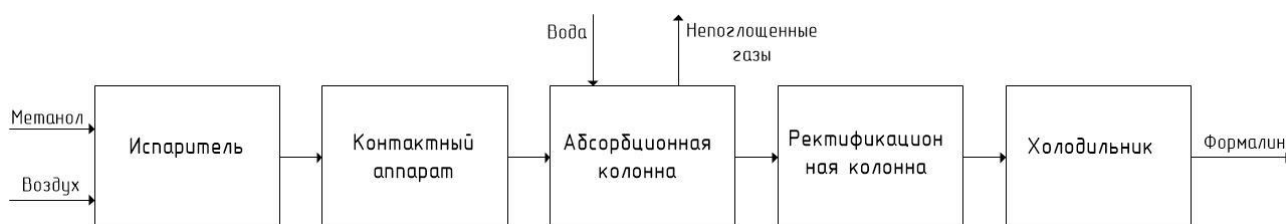
Выбор технологической схемы обусловлен мощностью производства формалина и назначением готового продукта. Мощность производства составляет 130 тыс. тонн в год 37% формалина.

### 2.3 Описание технологического процесса

Процесс производства формалина состоит из следующих стадий:

- Получение метанола – воздушной смеси;
- Синтез формальдегида;
- Получение формалина – «сырца»;
- Ректификация формалина – «сырца».

Блок схема процесса



### 2.4 Описание приборов контроля и средства автоматизации

Таблица 4 – Технологический контроль узла синтеза формальдегида

Наименование стадий процесса, места измерения или отбора проб	Контролируемый параметр	Частота и способ контроля	Нормы и технологические показатели	Методы испытания и средства контроля	Контролирует
Трубопровод пара на входе в спиртоиспаритель	Расход пара, м <sup>3</sup> /ч FRC-1	Непрерывно по прибору с записью в журнале каждый час	5000÷7000	Диафрагма. Тип: бескамерная. Предел измерения: (0-8000) мЗ/ч d20 = 249,9 мм. Дифманометр. Тип: «ECKARDT». Класс точности 1,0. Регистрирующий прибор.	Аппаратчик

				Тип: «ECKARDT». Шкала: (0-100)%. Класс точности 1,0.	
На входе в контактный аппарат	Давление, кгс/см <sup>2</sup> / МПа PIR–2	Непрерыв но по прибору с записью в журнале каждый час	Не более 0,76 / 0,076	Датчик МС–П1, предел измерения (0 ÷ 1) кгс/см <sup>2</sup> , (0 ÷ 0,1) МПа, класс точности 1,0. Вторичный прибор РПВ 4.3Э, шкала (0 ÷ 1) кгс/см <sup>2</sup> , (0 ÷ 0,1) МПа, класс точности 1,0.	Аппара тчик
	Температур а, °С TIRCSA–3	Непрерыв но по прибору с записью в журнале каждый час	550 ÷ 700	Датчик ТХА–0515, гр.ХА68 предел измерения (0 ÷ 1100)°С, класс точности 0,5	Аппара тчик
После подконтактн ого холодильник а	Температур а, °С TIRC–4	Непрерыв но по прибору с записью в журнале каждый час	Не более 200	Датчик ТСП–5071, гр.100П, предел измерения (0 ÷ 300)°С, класс точности 0,5. Вторичный прибор КСМ4-019И, гр.100П, шкала (0 ÷ 300)°С, класс точности 0,5	Аппара тчик

## 2.5 Аналитический контроль

Аналитический контроль на предприятии давно вышел из стадии вспомогательной службы и превратился в неотъемлемую часть основного производственного процесса. Чистота исходных материалов гарантирует не только целевой продукт высшего качества, но и сохранность оборудования.

Таблица 5 – Аналитический контроль

Наименование стадий процесса, места измерения параметров или отбора проб	Контролируемый параметр	Частота и способ контроля	Нормы и технологические показатели	Методы испытания и средства контроля	Кто контролирует
1. Метанол, поступающий в емкость поз. Е–1	массовая доля: - метанола	по требованию	не менее 99,0%	Постоянный технологический регламент	Лаборант производственной лаборатории
2. Воздух, поступающий в спиртоиспаритель поз. С–2	содержание посторонних частиц, точка росы	2 раза в год	не более 1 мг/м <sup>3</sup> , - 60°С	Постоянный технологический регламент ГОСТ 17433-80	Лаборант производственной лаборатории
3. Деминерализованная вода	содержание - железа, - жесткость, - pH.	1 раз в неделю	не более 0,05 мг/дм <sup>3</sup> не более 0,005 моль/дм <sup>3</sup>	Постоянный технологический регламент ГОСТ 6709-72	Лаборант производственной лаборатории
4. Формалин в кубе абсорбционной колонны поз. А–9	массовая доля: - метанола - формальдегида - кислот, в пересчете на муравьиную кислоту	1 раз в смену	не более 20 % не более 38 % факт. данные	Постоянный технологический регламент	Лаборант производственной лаборатории
5. Выхлопные газы из абсорбционной колонны поз. А–9	объемная доля: - водорода - кислорода - азота - углекислого газа - метанола - формальдегида	2 раза в смену	16,0 - 26,0 % не более 1,2 % по разности % не более 5,0 % не более 7,0 г/м <sup>3</sup> не более 4,0 г/м <sup>3</sup>	Постоянный технологический регламент	Лаборант производственной лаборатории

6. Формалин в кубе ректификационной колонны поз. Р-12	массовая доля: - метанола -формальдеги да - кислот в пересчете на муравьиную кислоту	3 раза в смену	не более 50,0 % не более 8,0 % 0,04%	Постоянный технологичес кий регламент ГОСТ-2222- 78 ГОСТ 1625-89	Лаборант производ ственной лаборато рии
---	--	-------------------	--	---	---



#### 4. Финансовый менеджмент

Ежегодно рынок формальдегида растет и потрясает цифрами. Поскольку мономерный формальдегид из-за его высокой реакционной способности трудно хранить и транспортировать, он обычно используется в химически связанной форме и может быть легко выделен непосредственно в момент реакции. Наиболее часто употребляют водный раствор формальдегида - формалин. Формалин применяется в качестве сырья при производстве пластмасс (таких, как фенопласты и аминопласты), искусственных волокон, красок, синтетических смол и клеев, дубильных веществ, в том числе, при кожевенном производстве, изоляционных материалов, дезинфицирующих и лекарственных средств, текстильных вспомогательных веществ; в качестве протравителя в сельском хозяйстве, а также при многих органических синтезах [2].

4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

##### 4.1.1 Анализ конкурентных технических решений

При ведении собственного производства необходим систематический анализ конкурирующих разработок во избежание потери занимаемой ниши рынка. Периодический анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности позволяет оценить эффективность научной разработки по сравнению с конкурирующими предприятиями.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1 [18].

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле [18]  $K = \sum B_i \cdot F_i$ ,

Где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;  
 $B_i$  – вес показателя (в долях единицы);  
 $B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

В таблице 27 приведена оценочная карта, включающая конкурентные технические разработки в области синтеза формальдегида.

Таблица 27 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических разработок

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		$B_{\phi}$	$B_{k1}$	$B_{k2}$	$K_{\phi}$	$K_{k1}$	$K_{k2}$
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Качество продукта	0,14	5	5	4	0,70	0,70	0,56
2. Выход продукта	0,10	5	5	5	0,50	0,50	0,50
3. Простота эксплуатации	0,09	4	3	3	0,36	0,27	0,27
4. Энергоэкономичность	0,10	4	4	3	0,40	0,40	0,30
5. Экологичность	0,10	5	4	5	0,50	0,40	0,50
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,12	4	4	4	0,48	0,48	0,48
2. Качество упаковки	0,08	4	3	4	0,32	0,24	0,32
3. Цена	0,12	4	5	4	0,48	0,60	0,48
4. Доступность получения информации о товаре	0,07	5	4	3	0,35	0,28	0,21
5. Финансирование научной разработки	0,08	5	4	4	0,40	0,32	0,32
Итого	1				4,49	4,19	3,94

$B_{\phi}$  – продукт проведенной работы;  
 $B_{k1}$  – ОАО «Метафракс» (г. Губаха, Пермский край, РФ);  
 $B_{k2}$  – ОАО «Акрон» (г. Великий Новгород, РФ).

#### 4.1.2 SWOT-анализ

Аббревиатура SWOT означает: Strengths – сильные стороны; Weakness – слабые стороны; Opportunities – возможности; Threats – угрозы.

SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта [18].

Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в таблице 28.

Таблица 28 – Первый этап SWOT-анализа

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Высокий уровень квалификации руководящих сотрудников предприятия С2. Экологичность используемой технологии С3. Экономичность реализации используемой технологии С4. Продукт является чистым и содержит малое количество метанола С5. Финансирование научной разработки	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Низкая заинтересованность рядовых сотрудников в развитии предприятия Сл2. Высокая степень износа оборудования Сл3. Себестоимость продукции на 10% выше, чем у основных конкурентов
Возможности: В1. Развитие новых технологий и введение нового катализатор, способствующего снижению затрат В2. Ежегодный рост рынка пластмасс, где продукт является сырьем		
Угрозы: У1. Отсутствие финансирования новых технологий У2. Появление более экономичного аналога продукции У3. Дефицит рядовых специалистов		

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды.

Таблица 29 – Интерактивная матрица проекта «Сильные стороны и возможности»

Сильные стороны проекта					
Возможности проекта		С1	С2	С3	С4
	В1	–	+	+	+
	В2	–	–	+	+

Таблица 30 – Интерактивная матрица проекта «Слабые стороны и возможности»

Слабые стороны проекта				
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	В1	–	+	+
	В2	+	–	–

Таблица 31 – Интерактивная матрица проекта «Сильные стороны и угрозы»

Сильные стороны проекта						
Угрозы		С1	С2	С3	С4	С5
	У1	–	–	+	–	+
	У2	–	–	+	+	+
	У3	–	–	–	–	+

Таблица 32 – Интерактивная матрица проекта «Слабые стороны и угрозы»

Слабые стороны проекта						
Угрозы		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	У1	–	–	–	–	–
	У2	–	–	–	–	–
	У3	+	–	–	–	–

Таким образом, в рамках третьего этапа может быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа (таблица 33).

Таблица 33 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Высокий уровень квалификации руководящих сотрудников предприятия</p> <p>С2. Экологичность используемой технологии</p> <p>С3. Экономичность реализации используемой технологии</p> <p>С4. Продукт является чистым и содержит малое количество метанола</p> <p>С5. Финансирование научной разработки</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Низкая заинтересованность рядовых сотрудников в развитии предприятия</p> <p>Сл2. Высокая степень износа оборудования</p> <p>Сл3. Себестоимость продукции на 10% выше, чем у основных конкурентов</p>
--	---	---

<p>Возможности:</p> <p>В1. Развитие новых технологий и введение нового катализатор, способствующего снижению затрат</p> <p>В2. Ежегодный рост рынка пластмасс, где продукт является сырьем</p>	<p>Разработка новой, более экономичной технологии производства формальдегида и увеличение спроса на него</p>	<p>Высокая степень износа оборудования и себестоимость продукции могут повлечь за собой рост цены на товар</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие финансирования новых технологий</p> <p>У2. Появление более экономичного аналога продукции</p> <p>У3. Дефицит рядовых специалистов</p>	<p>Качество продукта, высокий уровень квалификации управляющего персонала и научные разработки вполне способны ослабить влияние перечисленных угроз.</p>	<p>Перечисленные угрозы не могут усугубить слабые стороны предприятия</p>

## 4.2 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

Таблица 34 – Морфологическая матрица для методов получения формальдегида

	1	2	3
А. Сырье	Метанол	Диметиловый эфир	Природный и попутный газы
Б. Катализатор	Серебро	Медь	Оксиды металлов 5,6 8 групп
В. Форма использования катализатора	На носителе	В виде сетки	В виде гранул
Г. Состав товарного продукта	Технический	Концентрированный	Безметанольный

Проведя анализ морфологической матрицы, можно выбрать наиболее желательные функционально конкретные решения. А1Б1В1Г1

## 4.3 Планирование научно-исследовательских работ

### 4.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в чей состав входят: бакалавр, научный руководитель, консультант по части социальной ответственности (СО) и консультант по экономической части (ЭЧ) выпускной квалификационной работы. Составим перечень этапов и

работ в рамках проведения научного исследования и проведем распределение исполнителей по видам работ (Таблица 35).

Таблица 35 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
1	2	3	4
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель,
Выбор направления исследований	2	Выбор направления исследований	Руководитель, бакалавр
	3	Поиск и изучение литературы	Руководитель, бакалавр,
	4	Патентный поиск	Руководитель, бакалавр
1	2	3	4
Теоретические исследования	5	Проведение теоретических расчетов и обоснование результатов	Бакалавр
Обобщение и оценка результатов	6	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, бакалавр, консультант ЭЧ
	7	Определение целесообразности проведения ВКР	Руководитель, бакалавр, консультант ЭЧ, консультант СО
Проведение ВКР			
Разработка технической документации и проектирование	8	Оценка эффективности производства	Бакалавр, консультант по ЭЧ
	9	Разработка социальной ответственности по теме	Бакалавр, консультант по СО
Оформление комплекта документации по ВКР	10	Создание чертежей и технологической схемы производства	Бакалавр, руководитель
	11	Составление пояснительной записки	Бакалавр

#### 4.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого значения трудоемкости  $t_{ожі}$  используется формула [19]:

$$t_{ожi} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5},$$

где  $t_{ожi}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$  – ой работы, чел. – дн.;

$t_{\min i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$  – ой работы, чел. – дн.;

$t_{\max i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$  – ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел. – дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями [19]:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i},$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, раб.дн.;

$t_{ожi}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел. – дн.;

$Ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Результаты расчетов занесены в таблицу 34.

Таблица 36 – Временные показатели проведения научного исследования

№	Название работ	Трудоемкость работ									Исп олни тели	Т <sub>р</sub> , раб. дн.			Т <sub>р</sub> , кал. дн.		
		t <sub>min</sub> , чел- дн.			t <sub>max</sub> , чел- дн.			t <sub>ож</sub> , чел-дн.				Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3							
1	Составление технического задания	3	2	3	4	3	4	3, 4	2, 4	3, 4	Р	3, 4	2, 4	3, 4	4,0 8	2, 8	4,0 8
2	Поиск и изучение литературы	1 4	1 7	1 7	1 8	2 0	2 1	1 5, 6	1 8, 2	1 8, 6	Р	7, 8	9, 1	9, 3	9,3 6	1 0, 9 2	11, 16
		2 5	2 8	2 9	3 0	3 0	3 0	2 7	2 8, 8	2 9, 4	Б	1 3, 5	1 4, 4	1 4, 7	16, 2	1 7, 2 8	17, 64
3	Патентный поиск	3	4	4	6	7	7	4, 2	5, 2	5, 2	Р	2, 2	2, 6	2, 8	2,6 4	3, 1 2	3,3 6
		6	6	6	1 2	1 2	1 2	8, 4	8, 4	8, 4	Б	4, 2	4, 2	4, 2	5,0 4	5, 0 4	5,0 4

4	Проведение теоретических расчетов и обоснование результатов	3 0	3 2	3 6	4 0	4 2	4 2	3 4	3 6	3 8, 4	Б	3 4	3 6	3 8, 4	40, 8	4 3, 2	46, 08
5	Оценка эффективности результатов	2	2	2	3	3	3	2, 4	2, 4	2, 4	Р	0, 8	0, 8	0, 8	0,9 6	0, 9 6	0,9 6
		5	5	5	7	7	7	5, 8	5, 8	5, 8	Б	1, 9 3	1, 9 3	1, 9 3	2,3 16	2, 3 1 6	2,3 16
		2	2	2	3	3	3	2, 4	2, 4	2, 4	К <sup>1</sup>	0, 8	0, 8	0, 8	0,9 6	0, 9 6	0,9 6
6	Определение целесообразности и проведения ВКР	6	6	6	7	7	7	6, 4	6, 4	6, 4	Р	1, 6	1, 6	1, 6	1,9 2	1, 9 2	1,9 2
		6	6	6	7	7	7	6, 4	6, 4	6, 4	Б	1, 6	1, 6	1, 6	1,9 2	1, 9 2	1,9 2
		2	2	2	3	3	3	2, 4	2, 4	2, 4	К <sup>1</sup>	0, 6	0, 6	0, 6	0,7 2	0, 7 2	0,7 2
		2	2	2	3	3	3	2, 4	2, 4	2, 4	К <sup>2</sup>	0, 6	0, 6	0, 6	0,7 2	0, 7 2	0,7 2
7	Оценка эффективности производства	7	7	7	1 0	1 0	1 0	8, 2	8, 2	8, 2	Б	4, 2	4, 2	4, 2	5,0 4	5, 0 4	5,0 4
		7	7	7	1 0	1 0	1 0	8, 2	8, 2	8, 2	К <sup>1</sup>	4, 2	4, 2	4, 2	5,0 4	5, 0 4	5,0 4
8	Создание чертежей и технологической схемы производства	7	7	7	1 0	1 0	1 0	8, 2	8, 2	8, 2	Б	4, 2	4, 2	4, 2	5,0 4	5, 0 4	5,0 4
		2	2	2	4	4	4	2, 8	2, 8	2, 8	Р	1, 4	1, 4	1, 4	1,6 8	1, 6 8	1,6 8
9	Составление пояснительной записки	1 0	1 0	1 0	1 5	1 5	1 5	1 2	1 2	1 2	Б	1 2	1 2	1 2	14, 4	1 4, 4	14, 4

Р – руководитель

Б – бакалавр

К<sup>1</sup> – консультант по экономической части

К<sup>2</sup> – консультант по социальной ответственности

#### 4.3.3 Разработка графика проведения научного исследования

Диаграмма Ганта – это горизонтальный ленточный график (таблица 35) на котором работы по теме представляются протяженными во времени



отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ [20]. Данный график строится на основе таблицы 34.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться формулой [20]:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}},$$

где  $T_{ki}$ —продолжительность выполнения  $i$  – й работы в календарных днях;

$T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$  – й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}},$$

где  $T_{\text{кал}}$ —количество календарных дней в году;















$T_{\text{вых}}$  – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$  – количество праздничных дней в году.

Таким образом:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{142}{142 - 18 - 4} = 1,18.$$

Таблица 37 – Календарный план-график проведения НИОКР.

Вид работы	Исполнители	$T_{кп}$ , дней	Продолжительность выполнения работ										
			февраль		март			апрель			май		
			2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Составление технического задания	Руководитель	4,08											
Поиск и изучение литературы	Руководитель, бакалавр	17,64	 										
Патентный поиск	Руководитель, бакалавр	5,04	 										
Проведение теоретических расчетов и обоснование результатов	Бакалавр	46,08											
Оценка эффективности результатов	Руководитель, Бакалавр, Консультант по ЭЧ	2,31							 				
Определение целесообразности проведения ВКР	Руководитель, Бакалавр, Консультант по ЭЧ, Консультант по СО	1,92							 				
Оценка эффективности производства	Бакалавр, Консультант по ЭЧ,	5,04											
Создание чертежей и технологической схемы	Руководитель, бакалавр	5,04								 			
Составление пояснительной записки	Бакалавр	14,4											

Руководитель	Бакалавр	Консультант ЭЧ	Консультант СО

#### 4.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям [20]:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на основное оборудование;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

##### 4.4.1 Расчет материальных затрат НТИ

Для выполнения данной ВКР требуются материальные затраты на:

- приобретаемые со стороны сырье и материалы, необходимые для создания научно-технической продукции;
- покупные материалы, используемые в процессе создания научно-технической продукции для обеспечения нормального технологического процесса и для упаковки продукции или расходуемых на другие производственные и хозяйственные нужды;
- покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, подвергающиеся в дальнейшем монтажу или дополнительной обработке;
- сырье и материалы, покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, используемые в качестве объектов исследований (испытаний) и для эксплуатации, технического обслуживания и ремонта изделий – объектов испытаний (исследований).

Материальные затраты данного НТИ представлены в таблице 36.

Таблицы 38 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб.			Затраты на материалы, (З <sub>м</sub> ), руб.		
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Вода деминерализованная	м <sup>3</sup>	214	214	0	7,5	7,5	0	1605	1605	0
Метанол	т	0,507	0,507	0	5250	5250	0	2661,75	2661,75	0
Серебро на пемзе	т	13·10 <sup>-6</sup>	0	0	96000000	0	0	1,248	0	0
Оксид железа и молибдена	т	0	9·10 <sup>-5</sup>	0	0	70000	0	0	6,3	0
Природный газ	м <sup>3</sup>	0	0	1000	0	0	8,96	0	0	8960
Воздух	м <sup>3</sup>	0,06	0,06	0,5	0,19	0,19	0,19	0,0114	0,0114	0,095
<b>Итого:</b>								<b>4268,26</b>	<b>4273,06</b>	<b>8960,01</b>

#### 4.4.2 Расчет затрат на оборудование для научно-экспериментальных работ

Таблица 39 – Затраты на оборудование

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Сумма амортизационных отчислений, руб.
1.	Контактный аппарат	1	1800000	360000
2.	Колонна ректификационная	1	2300000	460000
3.	Испаритель	1	150000	30000
4.	Теплообменник	1	360000	72000
5.	Холодильник	1	170000	34000
<b>Итого</b>		<b>6</b>	<b>4780000</b>	<b>956000</b>

Годовая норма амортизационных отчислений — 20%

#### 4.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, (включая премии и доплаты) и дополнительную заработную плату. Также включается премия,

выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада [20]:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп} ,$$

где  $З_{осн}$  –основная заработная плата;

$З_{доп}$  – дополнительная заработная плата (12 – 20 % от  $З_{осн}$ ).

Основная заработная плата ( $З_{осн}$ ) руководителя от предприятия рассчитывается по следующей формуле [20]:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p ,$$

где  $З_{осн}$  –основная заработная плата одного работника;

$З_{дн}$  – среднедневная заработная плата работника, руб;

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно – техническим работником, раб.дн.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле [20]:

$$З_{дн} = \frac{З_m \cdot M}{F_d} ,$$

где  $З_m$  –месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года;

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно – технического персонала, раб.дн.

В таблице 40 приведен баланс рабочего времени каждого работника НТИ.

Таблица 40 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Бакалавр	Консультант ЭЧ	Консультант СО
Календарное число дней	142	142	142	142
Количество нерабочих дней				
выходные дни:	18	18	18	18
праздничные дни:	4	4	4	4
Потери рабочего времени				
отпуск:	0	0	0	0
невыходы по болезни:	0	0	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	120	120	120	120

Месячный должностной оклад работника [18]:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}},$$

где  $З_{\text{тс}}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{\text{пр}}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30 % от  $З_{\text{тс}}$ );

$k_{\text{д}}$  – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5;

$k_{\text{р}}$  – районный коэффициент, для Томска равный 1,3.

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 41

Таблица 41– Расчет основной заработной платы [21]

Категория	$З_{\text{тс}}$ , руб.	$k_{\text{д}}$	$k_{\text{р}}$	$З_{\text{м}}$ , руб.	$З_{\text{доп}}$ , руб.	$T_{\text{р}}$ , раб.дн.	$З_{\text{осн}}$ , руб.
Руководитель							
ППСЗ	12067,25	0,35	1,3	25884,25	1206,725	17,2	20755,67
Бакалавр							
ППС1	1854	0,35	1,3	3976,83	344,66	75,63	26066,53
Консультант ЭЧ							
ППСЗ	20080,9	0,35	1,3	43073,5	2008,09	5,6	11245,30
Консультант СО							
ППСЗ	20080,9	0,35	1,3	43073,5	2008,09	3	6024,27

Таблица 42 – Общая заработная плата исполнителей

Исполнитель	$З_{\text{осн}}$ , руб.	$З_{\text{доп}}$ , руб.	$З_{\text{ит}}$ , руб.
Руководитель	20755,67	2490,68	23246,35
Бакалавр	26066,53	3127,98	29194,51
Консультант ЭЧ	11245,30	1349,44	12594,74
Консультант СО	6024,27	722,91	6747,18

#### 4.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина этих отчислений определяется по формуле [20]:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}),$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

На 2014 г. в соответствии с Федеральным закона от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30 %. Однако на основании

пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка – 27,1 %.

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 41.

Таблица 43 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	20755,67	2490,68
Бакалавр	26066,53	3127,98
Консультант ЭЧ	11245,30	1349,44
Консультант СО	6024,27	722,91
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271	
<b>Итого:</b>	<b>19501,91</b>	

#### 4.4.5 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование графических материалов, оплата услуг связи, электроэнергии, транспортные расходы и т.д. Их величина определяется [22]:

$$Z_{\text{накл}} = k_{\text{нр}} \cdot (\text{сумма статей } 1 \div 5),$$

где  $k_{\text{нр}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов  $k_{\text{нр}}$  допускается взять в размере 16 %. Таким образом, накладные расходы на данные НТИ составляют 780088,472 руб.

#### 4.4.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведен в таблице 44.

Таблица 44 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб			Примечание
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	
1. Материальные затраты НТИ	<b>4268,26</b>	<b>4273,06</b>	<b>8960,01</b>	Таблица 36
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	4780000	4780000	4780000	Таблица 37
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	64091,77	64091,77	64091,77	Таблица 40
4 Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	7691,01	7691,01	7691,01	Таблица 40
5. Отчисления во внебюджетные фонды	<b>19501,91</b>	<b>19501,91</b>	<b>19501,91</b>	Таблица 41
6. Накладные расходы	780088,472	780089,24	780839,15	16 % от суммы ст. 1-5
7. Бюджет затрат НТИ	5655641,422	5655646,99	5661083,85	Сумма ст. 1-6

#### 4.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности

Интегральный финансовый показатель разработки определяется [22]:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}},$$

где  $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).



Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Таблица 45 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Способствует росту производительности труда	0,25	5	5	3
2. Удобство в эксплуатации	0,15	4	4	3
3. Надежность	0,20	5	5	4
4. Воспроизводимость	0,25	5	4	4
5. Материалоемкость	0,15	5	5	5
ИТОГО	1	4,8	4,6	3,8

Таблица 46 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	1	0,999
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,8	4,6	3,8
3	Интегральный показатель эффективности	4,8	4,6	3,803
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,95	0,792

**Вывод:** Сравнительный анализ интегральных показателей эффективности показывает, что предпочтительно первое исполнение для синтеза формальдегида, однако второй вариант тоже является эффективным.